

BEST AVAILABLE COPY

Docket No.: S&ZFH030508



1FW

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date indicated below.

By:  Date: May 3, 2005

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applic. No.	: 10/727,801	Confirmation No: 6855
Applicant	: Detlef Marpe, et al.	
Filed	: December 4, 2003	
Art Unit	: 2819	
Examiner	: Jean Bruner Jeanglaude	
Title	: Method and Arrangement for Arithmetic Encoding and Decoding Binary States and a Corresponding Computer Program and a Corresponding Computer-Readable Storage Medium	
Docket No.	: S&ZFH030508	
Customer No.	: 24131	

CLAIM FOR PRIORITY

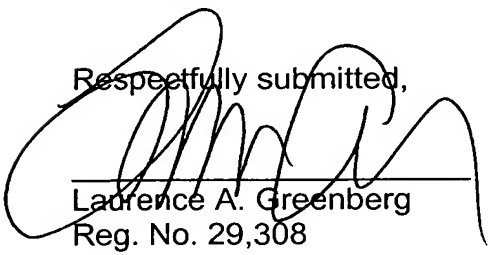
Commissioner for Patents,
P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 102 20 962.6, filed May 2, 2002.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,


Laurence A. Greenberg
Reg. No. 29,308

Date: May 3, 2005
Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101
/av

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 20 962.6

Anmeldetag: 2. Mai 2002

Anmelder/Inhaber: Heinrich Hertz Institut für Nachrichtentechnik
Berlin GmbH, 10587 Berlin/DE

Bezeichnung: Verfahren und Anordnung zur tabellengestützten
binären arithmetischen Einkodierung und Dekodierung sowie ein entsprechendes Computerprogramm-
produkt und ein entsprechendes computerlesbares
Speichermedium

IPC: H 03 M, G 06 T

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. April 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Sieck

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT



Verfahren und Anordnung zur tabellengestützten binären
5 arithmetischen Enkodierung und Dekodierung sowie ein
entsprechendes Computerprogrammprodukt und ein
entsprechendes computerlesbares Speichermedium

10	Beschreibung
----	--------------

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung sowie ein entsprechendes Computerprogrammprodukt und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium, welche insbesondere bei der digitalen Datenkompression eingesetzt werden können.

Die vorliegende Erfindung beschreibt ein neues effizientes Verfahren zur binären arithmetischen Kodierung. Der Bedarf nach binärer arithmetischer Kodierung entsteht in den verschiedensten Anwendungsbereichen der digitalen Datenkompression; hier sind vor allem Anwendungen in den Bereichen der digitalen Bildkompression von beispielhaften Interesse. In zahlreichen Standards zur Bildkodierung, wie etwa JPEG, JPEG-2000, JPEG-LS und JBIG wurden Verfahren zur binären arithmetischen Kodierung definiert. Neuere Standardisierungsaktivitäten lassen auch den zukünftigen Einsatz derartiger Kodiertechniken im Bereich der Videokodierung (H.26L/JVT) erkennen [1].

Die Vorteile der arithmetischen Kodierung (AK) gegenüber der bisher in der Praxis häufig verwendeten Huffman-Kodierung [2] lassen sich im wesentlichen durch drei Merkmale charakterisieren:

- 5 1. Mit der Verwendung der arithmetischen Kodierung lässt sich durch einfache Adaptionsmechanismen eine dynamische Anpassung an die vorhandene Quellenstatistik erzielen (Adaptivität).
- 10 2. Die arithmetische Kodierung erlaubt die Zuweisung von einer nicht ganzzahligen Anzahl von Bits pro zu kodierendem Symbol und ist damit geeignet, Kodierresultate zu erzielen, die eine Approximation der Entropie als der theoretisch gegebenen unteren
- 15 Schranke darstellen (Entropie-Approximation) [3].
3. Unter Zuhilfenahme geeigneter Kontextmodelle lassen sich mit der arithmetischen Kodierung statistische Bindungen zwischen Symbolen zur weiteren Datenreduktion ausnutzen (Intersymbol-Redundanz) [4].
- 20 Als Nachteil einer Anwendung der arithmetischen Kodierung wird der im Vergleich zur Huffman-Kodierung i. a. erhöhte Rechenaufwand angesehen.
- 25 Das Konzept der arithmetischen Kodierung geht zurück auf die grundlegenden Arbeiten zur Informationstheorie von Shannon [5]. Erste konzeptionelle Konstruktionsmethoden wurden in [6] erstmals von Elias veröffentlicht. Eine erste LIFO (last-in-first-out) Variante der
- 30 arithmetischen Kodierung wurde von Rissanen [7] entworfen und später von verschiedenen Autoren zu FIFO-Ausbildungen (first-in-first-out) modifiziert [8] [9] [10].

Gemeinsam ist allen diesen Arbeiten das zugrundeliegende Prinzip der rekursiven Teilintervallzerlegung: Entsprechend den gegebenen Wahrscheinlichkeiten $P(„0“)$ und $P(„1“)$ zweier Ereignisse $\{„0“, „1“\}$ eines binären Alphabets wird ein anfänglich gegebenes Intervall, z.B. das Intervall $[0, 1)$, je nach Auftreten von Einzelereignissen rekursiv in Teilintervalle zerlegt. Dabei ist Größe des resultierenden Teilintervalls als Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten der aufgetretenen Ereignisse proportional zur Wahrscheinlichkeit der Folge der Einzelereignisse. Da jedes Ereignis S_i mit der Wahrscheinlichkeit $P(S_i)$ einen Beitrag von $H(S_i) = -\log(P(S_i))$ des theoretischen Informationsgehalts $H(S_i)$ von S_i zur Gesamtrate beiträgt, ergibt sich eine Beziehung zwischen der Anzahl N_{Bit} der Bits zur Darstellung des Teilintervalls und der Entropie der Folge von Einzelereignissen, die durch die rechte Seite der folgenden Gleichung angegeben ist

$$N_{\text{Bit}} = -\log \prod_i P(S_i) = -\sum_i \log P(S_i) .$$

Das Grundprinzip erfordert jedoch zunächst eine (theoretisch) unbegrenzte Genauigkeit in der Darstellung des resultierenden Teilintervalls und hat darüber hinaus den Nachteil, dass erst nach Kodierung des letzten Ereignisses die Bits zur Repräsentierung des resultierenden Teilintervalls ausgegeben werden können. Für praktische Anwendungszwecke war es daher entscheidend, Mechanismen für eine inkrementelle Ausgabe von Bits bei gleichzeitiger Darstellung mit Zahlen vorgegebener fester Genauigkeit zu entwickeln. Diese wurden erstmals in den Arbeiten [3] [7] [11] vorgestellt.

In Figur 1 sind die wesentlichen Operationen zur binären arithmetischen Kodierung skizziert. In der dargestellten Implementierung wird das aktuelle Teilintervall durch die beiden Werte L und R repräsentiert, wobei L den Aufsatzpunkt und R die Größe (Breite) des Teilintervalls bezeichnet und beide Größen mit jeweils b -bit Ganzzahlen dargestellt werden. Die Kodierung eines bit $\in \{0, 1\}$ erfolgt dabei im wesentlichen in 5 Teilschritten: Im ersten Schritt wird anhand der Wahrscheinlichkeitsschätzung der Wert des weniger wahrscheinlichen Symbols ermittelt. Für dieses Symbol, auch LPS (least probable symbol) in Unterscheidung zum MPS (most probable symbol) genannt, wird die Wahrscheinlichkeitsschätzung P_{LPS} im zweiten Schritt zur Berechnung der Breite R_{LPS} des entsprechenden Teilintervalls herangezogen. Je nach Wert des zu kodierenden Bits bit werden L und R im dritten Schritt aktualisiert. Im vierten Schritt wird die Wahrscheinlichkeitsschätzung je nach Wert des gerade kodierten Bits aktualisiert und schließlich wird das Codeintervall R im letzten Schritt einer sogenannten Renormalisierung unterzogen, d. h. R wird so reskaliert, dass die Bedingung $R \in [2^{b-2}, 2^{b-1}]$ erfüllt ist. Dabei wird bei jeder Skalierungsoperation ein Bit ausgegeben. Für weitere Details sei auf [10] verwiesen.

Der wesentliche Nachteil einer Implementierung, wie oben skizziert, besteht nun darin, dass die Berechnung der Intervallbreite R_{LPS} eine Multiplikation pro zu kodierendem Symbol erfordert. Üblicherweise sind Multiplikationsoperationen, insbesondere, wenn sie in Hardware realisiert werden, aufwändig und kostenintensiv. In mehreren Forschungsarbeiten wurden daher Verfahren untersucht, diese Multiplikationsoperation durch eine

geeignete Approximation zu ersetzen [11] [12] [13] [14]. Hierbei können die zu diesem Thema veröffentlichten Verfahren grob in drei Kategorien eingeteilt werden.

- 5 Die erste Gruppe von Vorschlägen zu einer multiplikationsfreien, binären arithmetischen Kodierung basiert auf dem Ansatz, die geschätzten Wahrscheinlichkeiten P_{LPS} so zu approximieren, dass die Multiplikation im 2. Schritt von Figur 1 durch eine (oder mehrere) Schiebe- und Additionsoption(en) ersetzt werden kann [11] [14]. Hierzu werden im einfachsten Fall die Wahrscheinlichkeiten P_{LPS} durch Werte in der Form 2^{-q} mit ganzzahligem $q > 0$ angenähert.
- 10
- 15 In der zweiten Kategorie von approximativen Verfahren wird vorgeschlagen, den Wertebereich von R durch diskrete Werte in der Form $(\frac{1}{2} - r)$ zu approximieren, wobei $r \in \{0\} \cup \{2^{-k} \mid k > 0, k \text{ ganzzahlig}\}$ gewählt wird [15] [16].
- 20
- Die dritte Kategorie von Verfahren zeichnet sich schließlich dadurch aus, dass dort sämtliche arithmetische Operationen durch Tabellenzugriffe ersetzt werden. Zu dieser Gruppe von Verfahren gehören einerseits der im JPEG-Standard verwendete Q-Coder und verwandte Verfahren, wie der QM- und MQ-Coder [12], und andererseits der quasi-arithmetische Koder [13]. Während das letztgenannte Verfahren eine drastische Einschränkung der zur Repräsentierung von R verwendeten Anzahl b von Bits vornimmt, um zu akzeptabel dimensionierten Tabellen zu gelangen, wird im Q-Coder die Renormalisierung von R so gestaltet, dass R zumindest näherungsweise durch 1 approximiert werden kann. Auf diese Art und Weise wird die Multiplikation zur Be-
- 25
- 30

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 20 962.6

Anmeldetag: 2. Mai 2002

Anmelder/Inhaber: Heinrich Hertz Institut für Nachrichtentechnik
Berlin GmbH, 10587 Berlin/DE

Bezeichnung: Verfahren und Anordnung zur tabellengestützten
binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung sowie ein entsprechendes Computerprogramm-
produkt und ein entsprechendes computerlesbares
Speichermedium

IPC: H 03 M, G 06 T

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. April 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

Sieck

stimmung von R_{LPS} vermieden. Zusätzlich wird die Wahrscheinlichkeitsschätzung mittels einer Tabelle in Form einer Finite-State Machine betrieben. Für weitere Einzelheiten hierzu sei auf [12] verwiesen.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung sowie ein entsprechendes Computerprogrammprodukt und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium anzugeben, welche die erwähnten Nachteile beheben, insbesondere (a) keine Multiplikationen erfordert, (b) eine Wahrscheinlichkeitsschätzung ohne Berechnungsaufwand erlaubt und (c) gleichzeitig ein Höchstmaß an Kodierungseffizienz über einen weiten Bereich von typischerweise auftretenden Symbolwahrscheinlichkeiten gewährleistet.

20 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1, 6, 7 und 8 im Zusammenwirken mit den Merkmalen im Oberbegriff. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

25 Ein Verfahren zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung wird vorteilhafterweise so durchgeführt, daß zwei oder mehrere Tabellen zur adaptiven arithmetischen Codierung genutzt werden.

30

Eine Anordnung zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung umfasst mindestens einen Prozessor, der (die) derart eingerichtet ist (sind), dass ein Verfahren zur

tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 durchführbar ist.

- 5 Ein Computerprogramm-Erzeugnis zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung umfasst ein computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers
- 10 geladen worden ist, ein Verfahren zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 durchzuführen.
- 15 Zur Durchführung eines Verfahrens zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung wird vorteilhafterweise ein computerlesbares Speichermedium genutzt, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden
- 20 ist, ein Verfahren zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 durchzuführen.
- 25 Das neue Verfahren zeichnet sich durch die Kombination dreier Merkmale aus. Zunächst erfolgt, ähnlich wie im Q-Coder die Wahrscheinlichkeitsschätzung mittels einer endlichen Zustandsmaschine (FSM: finite state machine), wobei die Generierung der N repräsentativen Zustände
- 30 der FSM offline erfolgt. Die entsprechenden Übergangsregeln werden dabei in Form von Tabellen abgelegt.

- Zweites charakteristisches Merkmal der Erfindung ist eine Vorquantisierung der Intervallbreite R auf eine
- 35 Anzahl von K vorab definierten Quantisierungswerten.

Dies erlaubt bei geeigneter Dimensionierung von K und N die Erstellung einer Tabelle, die alle $K \times N$ Kombinationen von vorab berechneten Produktwerten $R \times P_{LPS}$ zu einer multiplikationsfreien Bestimmung von R_{LPS} enthält.

5

Für die Verwendung der vorgestellten Erfindung in einer Umgebung, in der verschiedene Kontextmodelle zum Einsatz kommen, unter denen sich auch solche mit (nahezu) uniformer Wahrscheinlichkeitsverteilung befinden, wird als zusätzliches (optionales) Element ein separater Zweig in der Kodiermaschine vorgesehen, in der sich unter der Annahme einer Gleichverteilung die Bestimmung der Größen L und R sowie die Renormalisierung vom Rechenaufwand her nochmals deutlich reduziert.

15

Insgesamt beurteilt, erbringt die Erfindung insbesondere den Vorteil, dass sie einen guten Kompromiss zwischen hoher Kodiereffizienz auf der einen Seite und geringem Rechenaufwand auf der anderen Seite ermöglicht.

20

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

25 Es zeigen:

Figur 1 Darstellung der wesentlichen Operationen zur binären arithmetischen Kodierung;

Figur 2 Modifiziertes Schema zur tabellengestützten arithmetischen Enkodierung;

30 Figur 3 Prinzip der tabellengestützten arithmetischen Decodierung;

Figur 4 Prinzip der En- bzw. Dekodierung für binäre Daten mit uniformer Verteilung.

Zunächst einmal soll jedoch der theoretische Hintergrund etwas näher erläutert werden:

Tabellengestützte Wahrscheinlichkeitsschätzung

- 5 Wie oben bereits näher erläutert, beruht die Wirkungsweise der arithmetischen Kodierung auf einer möglichst guten Schätzung der Auftrittswahrscheinlichkeit der zu kodierenden Symbole. Um eine Adaption an instationäre Quellenstatistiken zu ermöglichen, muss diese Schätzung
- 10 im Laufe des Kodierungsprozesses aktualisiert werden. In der Regel werden hierzu herkömmlicherweise Verfahren verwendet, die mit Hilfe skalierten Häufigkeitszähler der kodierten Ereignisse operieren [17]. Bezeichnen C_{LPS} und C_{MPS} Zähler für die Auftrittshäufigkeiten von LPS und MPS , so lässt sich mittels dieser Zähler die
- 15 Schätzung

$$P_{LPS} = \frac{C_{LPS}}{C_{LPS} + C_{MPS}} \quad (1)$$

- vornehmen und damit die in Figur 1 skizzierte Operation der Intervallunterteilung ausführen. Für praktische
- 20 Zwecke nachteilig ist die in Gleichung (1) erforderliche Division. Häufig ist es jedoch zweckmäßig und erforderlich, bei Überschreitung eines vorgegebenen Schwellwerts C_{max} des Gesamtzählers $C_{Total} = C_{MPS} + C_{LPS}$ eine Reskalierung der Zählerstände vorzunehmen. (Man
- 25 beachte in diesem Zusammenhang, dass bei einer b -bit-Darstellung von L und R die kleinste Wahrscheinlichkeit, die noch korrekt dargestellt werden kann, 2^{-b+2} beträgt, so dass zur Vermeidung der Unterschreitung dieser unteren Grenze gegebenenfalls eine Reskalierung
- 30 der Zählerstände erforderlich ist.) Bei geeigneter Wahl von C_{max} lassen sich die reziproken Werte von C_{Total} tabellieren, so dass die in Gleichung (1) erforderliche Division durch einen Tabellenzugriff sowie eine Multiplikations- und Schiebeoperation ersetzt werden kann.

Um jedoch auch diese arithmetischen Operationen zu vermeiden, wird in der vorliegenden Erfindung ein vollständig tabellengestütztes Verfahren zur Wahrscheinlichkeitsschätzung verwendet.

5

Zu diesem Zweck werden vorab in einer Trainingsphase repräsentative Wahrscheinlichkeitszustände

$\{P_k \mid 0 \leq k < N_{max}\}$ ausgewählt, wobei die Auswahl der Zustände einerseits von der Statistik der zu

10 kodierenden Daten und andererseits von der Nebenbedingung der vorgegebenen Maximalanzahl N_{max} von Zuständen abhängt. Zusätzlich werden Übergangsregeln definiert, die angeben, welcher neue Zustand

ausgehend von dem aktuell kodierten Symbol für das nächste zu kodierende Symbol verwendet werden soll.

15 Diese Übergangsregeln werden in Form zweier Tabellen bereitgestellt: $\{Next_State_LPS_k \mid 0 \leq k < N_{max}\}$ und $\{Next_State_MPS_k \mid 0 \leq k < N_{max}\}$, wobei die Tabellen für

den Index n des aktuell gegebenen Wahrscheinlichkeitszustands P_n den Index m des neuen Wahrscheinlichkeitszustands P_m bei Auftreten eines LPS bzw. MPS liefern.

20 Hervorzuheben sei an dieser Stelle, dass zur Wahrscheinlichkeitsschätzung im arithmetischen Enkoder bzw. Dekoder, so wie er hier vorgeschlagen wird, keine

25 explizite Tabellierung der Wahrscheinlichkeitszustände notwendig ist. Vielmehr werden die Zustände nur anhand ihrer entsprechenden Indizes implizit adressiert, wie im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

30 Tabellengestützte Intervallunterteilung

Figur 2 zeigt das modifizierte Schema zur tabellengestützten arithmetischen Kodierung, wie sie hier vorgeschlagen wird. Nach Bestimmung des LPS wird zunächst die gegebene Intervallbreite R mittels einer tabellier-

- ten Abbildung Q_{tab} und einer geeigneten Schiebeoperation (um q bit) auf einen quantisierten Wert Q abgebildet. In der Regel wird hier eine relativ grobe Quantisierung $K = 4 \dots 8$ verschiedene Werte vorgenommen.
- 5 Auch hier erfolgt, ähnlich wie im Fall der Wahrscheinlichkeitsschätzung, keine explizite Bestimmung von Q ; vielmehr wird nur ein Index q_index auf Q übergeben. Dieser Index wird nun zusammen mit dem Index p_state zur Charakterisierung des aktuellen Wahrscheinlichkeitszustands für die Bestimmung der Intervallbreite R_{LPS} verwendet. Dazu wird der entsprechende Eintrag der Tabelle R_{tab} verwendet. Dort sind die zu allen K quantisierten Werten von R und N_{max} verschiedenen Wahrscheinlichkeitszuständen korrespondierenden $K \cdot N_{max}$
- 10 Produktwerte $R \times P_{LPS}$ abgelegt. Für praktische Implementierungen ist hier eine Möglichkeit gegeben, zwischen dem Speicherbedarf für die Tabellengröße und der arithmetischen Genauigkeit, die letztlich auch die Effizienz der Kodierung bestimmt, abzuwägen. Beide Zielgrößen
- 15 werden durch die Granularität der Repräsentierung von R und P_{LPS} bestimmt.

- Im vierten Schritt der Figur 2 ist gezeigt, wie die Aktualisierung des Wahrscheinlichkeitszustands p_state
- 25 in Abhängigkeit des gerade kodierten Ereignisses bit vorgenommen wird. Hier werden die im vorigen Abschnitt „Tabellengestützte Wahrscheinlichkeitsschätzung“ bereits erwähnten Übergangstabellen $Next_State_LPS$ und $Next_State_MPS$ benutzt. Diese Operationen entsprechen
- 30 dem in Figur 1 im 4. Schritt angegebenen, aber nicht näher spezifizierten Aktualisierungsprozeß.

Figur 3 zeigt das korrespondierende Ablaufschema der tabellengestützten arithmetischen Dekodierung. Zur

- Charakterisierung des aktuellen Teilintervalls wird im Dekoder die Intervallbreite R und ein Wert V verwendet. Letzterer liegt im Innern des Teilintervalls und wird mit jedem gelesenen Bit sukzessive verfeinert. Wie aus
- 5 der Figur 3 hervorgeht, werden die Operationen zur Wahrscheinlichkeitsschätzung und Bestimmung der Intervallbreite R entsprechend denen des Enkoders nachgeführt.
- 10 Kodierung mit uniformer Wahrscheinlichkeitsverteilung
In Anwendungen, in denen z. B. vorzeichenbehaftete Werte kodiert werden sollen, deren Wahrscheinlichkeitsverteilung symmetrisch um die Null angeordnet ist, wird man zur Kodierung der Vorzeicheninformation in der
- 15 Regel von einer Gleichverteilung ausgehen können. Da diese Information einerseits mit in den arithmetischen Bitstrom eingebettet werden soll, es andererseits aber nicht sinnvoll ist, für den Fall einer Wahrscheinlichkeit von $P \approx 0.5$ den immer noch relativ aufwändigen
- 20 Apparat der tabellengestützten Wahrscheinlichkeits-schätzung und Intervallunterteilung zu benutzen, wird vorgeschlagen für diesen Spezialfall, optional eine gesonderte Enkoder-/Dekoder Prozedur zu benutzen, die sich wie folgt darstellt.
- 25 Im Enkoder lässt sich für diesen Spezialfall die Intervallbreite des neuen Teilintervalls durch eine einfache Schiebeoperation entsprechend einer Halbierung der Breite des Ausgangsintervalls R bestimmen. Je nach
- 30 Wert des zu kodierenden Bits wird dann die obere bzw. untere Hälfte von R als neues Teilintervall gewählt (vgl. Figur 4). Die anschließende Renormalisierung und Ausgabe von Bits erfolgt wie im obigen Fall der tabellengestützten Lösung.

Im entsprechenden Dekoder reduzieren sich die notwendigen Operationen darauf, das zu dekodierende Bit anhand des Werts von V relativ zur aktuellen Intervallbreite R durch eine einfache Vergleichsoperation zu bestimmen. In dem Fall, dass das dekodierte Bit gesetzt wird, ist V um den Betrag von R zu reduzieren. Wie in Figur 4 dargestellt, wird die Dekodierung durch die Renormalisierung und die Aktualisierung von V mit dem nächsten einzulesenden Bit abgeschlossen.

Quellennachweis

- 5 [1] D. Marpe, G. Blättermann, G. Heising, Th. Wiegand: "Video Compression Using Context-Based Adaptive Arithmetic Coding", Proc. IEEE Int. Congress on Image Processing, Thessaloniki, Greece, pp. 558-561, 2001.
- 10 [2] D. A. Huffman, "A Method for Construction of Minimum Redundancy code", Proc. IRE, Vol. 40, pp. 1098-1101, 1952.
- 15 [3] I. H. Witten, R. M. Neal, J. G. Cleary, "Arithmetic Coding for Data Compression", Communication of the ACM, Vol. 30, No. 6, pp. 520-540, 1987.
- [4] G. G. Langdon, J. Rissanen, "A Simple General Binary Source code", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 28, pp. 800-803, 1982.
- 20 [5] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication", Bell Syst. Tech. Journal, vol. 27, pp. 379-423, 623-656, 1948.
- [6] P. Elias, in "Information Theory and Coding", N. Abramson (Ed.), New York, Mc-Gra-Hill, 1963.
- 25 [7] J. Rissanen, "Generalized Kraft Inequality and Arithmetic Coding", IBM J. Res. Develop., Vol. 20, pp. 198-203, 1976.
- [8] R. C. Pasco, "Source Coding and Algorithms for Fast Data Compression", Ph. D. Dissertation, Stanford University, USA, 1976.
- 30 [9] G. G. Langdon, "An Introduction to Arithmetic Coding", IBM J. Res. Develop., Vol. 28, pp. 135-149, 1984.

- [10] A. Moffat, R. M. Neal, I. H. Witten, "Arithmetic Coding Revisited", Proc. IEEE Data Compression Conference, Snowbird (USA), pp. 202-211, 1996.
- [11] J. Rissanen, K. M. Mohiuddin, "A Multiplication-Free Multialphabet Arithmetic Arithmetic Code", IEEE Trans. on Communication, Vol. 37, pp. 93-98, 1989.
- [12] W. B. Pennebaker, J. L. Mitchell, G. G. Langdon, R. B. Arps, "An Overview of the Basic Principles of the Q-Coder Adaptive Binary Arithmetic Coder", IBM J. Res. Develop., Vol. 32, pp. 717-726, 1988.
- [13] P. G. Howard, J. S. Vitter, "Practical Implementations of Arithmetic Coding", in "Image and Text Compression", J. Storer (Ed.), Norwell (USA), Kluwer, 1992.
- [14] L. Huynh, A. Moffat, "A Probability-Ratio Approach to Approximate Binary Arithmetic Coding", IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 43, pp. 1658-1662, 1997.
- [15] D. Chevion, E. D. Karnin, E. Walach, "High-Efficiency, Multiplication Free Approximation of Arithmetic Coding", Proc. IEEE Data Compression Conference, Snowbird (USA), pp. 43-52, 1991.
- [16] G. Feygin, P. G. Gulak, P. Chow, "Minimizing Excess Code Length and VLSI Complexity in the Multiplication Free Approximation of Arithmetic Coding", Inform. Proc. Manag., vol. 30, pp. 805-816, 1994.
- [17] D. L. Duttweiler, Ch. Chamzas, "Probability Estimation in Arithmetic and Adaptive-Huffman Entropy Coders", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 4, pp. 237- 246, 1995.

Patentansprüche

1. Verfahren zur tabellengestützten binären arithmetischen
5 Enkodierung und Dekodierung, wobei zwei oder
 mehrere Tabellen zur adaptiven arithmetischen
 Codierung genutzt werden.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1,
 dadurch gekennzeichnet, daß
 die Tabellen zur adaptiven arithmetischen Codie-
 rung in Bild- und Videocodierern und -decodierern
15 zur Übertragung der Syntaxelemente Bewegungsvek-
 toren, Coded-Block-Pattern und/oder Texturinforma-
 tion eingesetzt werden.
- 20 3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
 dadurch gekennzeichnet, daß
 eine Tabelle die Zustandsübergänge des arithmeti-
 schen Codierers/Decodierers und eine andere die
 Zustandsübergänge für die Wahrscheinlichkeits-
25 schätzung der Syntaxelemente darstellt.
- 30 4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
 dadurch gekennzeichnet, daß
 eine Bestimmung des Least-Probable-Symbols und
 des Most-Probable-Symbols und somit eine
 effizientere und adaptive Verarbeitung der
 binären Eingangssymbole erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine vereinfachte Codierung von Syntaxelementen mit approximativ uniformer Wahrscheinlichkeit durch einen Beipass durchgeführt wird.
6. Anordnung mit mindestens einem Prozessor, der (die) derart eingerichtet ist (sind), daß ein Verfahren zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 durchführbar ist.
7. Computerprogramm-Erzeugnis, das ein computerlesbares Speichermedium umfasst, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 durchzuführen.
8. Computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 durchzuführen.

1. Bestimmung des LPS
2. Berechnung der Größen R_{LPS} und R_{MPS} :
 $R_{LPS} = R \cdot P_{LPS}$
 $R_{MPS} = R - R_{LPS}$
3. Berechnung des neuen Teilintervalls:
 if (bit = LPS) then
 $L \leftarrow L + R_{MPS}$
 $R \leftarrow R_{LPS}$
 else
 $R \leftarrow R_{MPS}$
4. Aktualisierung der Wahrscheinlichkeitsschätzung P_{LPS}
5. Ausgabe von Bits und Renormalisierung von R

Fig. 1

1. Bestimmung des LPS
2. Quantisierung von R:
 $q_index = Qtab[R \gg q]$
3. Bestimmung von R_{LPS} und R_{MPS} :
 $R_{LPS} = Rtab[q_index, p_state]$
 $R_{MPS} = R - R_{LPS}$
4. Berechnung des neuen Teilintervalls:
 if (bit = LPS) then
 $L \leftarrow L + R_{MPS}$
 $R \leftarrow R_{LPS}$
 $p_state \leftarrow Next_State_LPS[p_state]$
 else
 $R \leftarrow R_{MPS}$
 $p_state \leftarrow Next_State_MPS[p_state]$

Fig. 2

```
1. Bestimmung des LPS
2. Quantisierung von R:
   q_index = Qtab[R>>q]
3. Bestimmung von R_LPS und R_MPS:
   R_LPS = Rtab[q_index, p_state]
   R_MPS = R - R_LPS
4. Bestimmung von bit, je nach Lage des
   Teilintervalls:
   if (V ≥ R_MPS) then
       bit ← LPS
       V ← V - R_MPS
       R ← R_LPS
       p_state ← Next_State_LPS[p_state]
   else
       bit ← MPS
       R ← R_MPS
       p_state ← Next_State_MPS[p_state]
5. Renormalisierung von R, Auslesen eines Bits
   und Aktualisierung von V
```

Fig. 3

Enkoder:

1. Berechnung des neuen Teilintervalls:

 $R \leftarrow R \gg 1$

if (bit = 1) then

 $L \leftarrow L + R$

2. Ausgabe von Bits und Renormalisierung von R

Dekoder:

1. Bestimmung von bit, je nach Lage des Teilintervalls:

if ($V \geq R$) thenbit \leftarrow 1 $V \leftarrow V - R$

else

bit \leftarrow 0

2. Auslesen eines Bits, Renormalisierung von R und Aktualisierung von V

Fig. 4

Zusammenfassung

- Die Erfindung beschreibt ein Verfahren und eine Anordnung zur tabellengestützten binären arithmetischen
- 5 Enkodierung und Dekodierung sowie ein entsprechendes Computerprogrammprodukt und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium, welche insbesondere bei der digitalen Datenkompression eingesetzt werden können.
- 10 Hierfür wird vorgeschlagen, zur tabellengestützten binären arithmetischen Enkodierung und Dekodierung zwei oder mehrere Tabellen zur adaptiven arithmetischen Codierung zu nutzen.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.